

Pengukuran Viskositas dengan Bantuan Sensor Gaya

Felisia Arum Ratriyantari, Ign Edi Santosa*

Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma

Paingan, Maguwohardjo, Depok, Sleman.

* E-mail: edi@usd.ac.id

Abstrak – Makalah ini berisikan pengukuran viskositas melalui pengamatan laju aliran zat cair melalui pipa kapiler. Kelajuan aliran tergantung pada viskositas zat cair dan parameter eksperimen seperti panjang dan diameter pipa yang digunakan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini laju aliran diukur dengan menggunakan sensor gaya. Sensor gaya digunakan untuk mengukur berat zat cair yang dikumpulkan setelah mengalir melalui pipa kapiler. Nilai viskositas ditentukan dari koefisien penambahan berat, dan parameter yang ditetapkan selama eksperimen. Viskositas dari gliserin yang diukur tergantung pada konsentrasinya.

Kata kunci: viskositas, laju aliran, sensor gaya, gliserin

Abstract – This article presents viscosity measurements by observing the flow of fluid through a cylindrical tube. The flow rate depends on the viscosity and the experimental parameters such as length and diameter of the tube. The experiment utilize force sensor to record the weight of collected fluid. The viscosity was then determined from coefficient of weight growth and the parameters used in the experiment. It can be showed that the viscosity of glycerine which used in the experiment is depend on its concentration.

Keywords: viscosity, flow rate, force sensor, glycerine

I. PENDAHULUAN

Pengukuran viskositas merupakan topik praktikum dalam bidang Mekanika Fluida. Salah satu metoda yang banyak digunakan adalah melalui pengukuran kecepatan terminal dari benda yang jatuh di dalam zat cair [1]. Praktikum ini tampak sederhana. Namun beberapa persoalan dijumpai dalam pelaksanaannya. Persoalan tersebut meliputi penentuan saat dicapainya kecepatan terminal. Selain itu pengukuran waktu tempuh benda dengan menggunakan stopwatch dipengaruhi oleh waktu reaksi pengamat. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan penyelesaian gerak secara numerik [2].

Pengukuran viskositas dapat juga dilakukan menggunakan viskometer rotasional [3]. Pada metoda ini, sebuah silinder dicelupkan di dalam zat cair yang akan diukur viskositasnya. Kemudian silinder diputar dengan sebuah motor. Torka pelawan akan sebanding dengan viskositas zat cairnya. Pengukuran ini relatif kompleks.

Pada kedua metoda di atas, viskositas diukur dari efek yang dialami oleh benda yang berada di dalam zat cair. Metoda lain langsung mengamati aliran zat cairnya melalui pipa kapiler [1]. Penentuan viskositas menggunakan hukum Poiseuille.

Rosenberger *et al.* menggunakan metoda gravimetri [4]. Pada pengukuran ini digunakan dua tabung yang dihubungkan dengan sebuah pipa kapiler. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan zat cair pada kedua tabung dengan ketinggian yang berbeda. Perbedaan tekanan akan menyebabkan zat cair mengalir melalui pipa kapiler. Viskositas ditentukan dari pengukuran perubahan massa di masing-masing tabung.

Aliran fluida dari sebuah tabung melalui pipa kapiler telah digunakan untuk mengukur viskositas [5]. Kecepatan aliran tergantung pada tekanan hidrostatik,

viskositas zat cair dan karakteristik pipa kapiler. Tekanan dapat diukur dari ketinggian zat cair. Untuk mengetahui ketinggian zat cair dalam tabung digunakan *motion detector* berbasis gelombang ultrasonik [5]. Karena itu penggunaan *motion detector* terbatas pada tabung yang luas penampangnya besar.

Untuk dapat mengukur zat cair yang volumenya kecil, digunakan tabung yang luas penampangnya juga kecil. Untuk itu berbeda dengan penelitian di atas, pada makalah ini disajikan hasil penelitian pengukuran viskositas menggunakan sensor gaya. Sensor gaya semacam ini biasanya digunakan untuk mengukur besaran-besaran yang terkait dengan gaya [6]. Penelitian ini ditujukan untuk keperluan pedagogi yang lebih menekankan aspek metodanya.

II. LANDASAN TEORI

Laju aliran zat cair melalui pipa silinder dengan penampang tetap tergantung pada kekentalan zat cair, perbedaan tekanan dan karakteristik pipa yang dilewati, mengikuti hukum Poiseuille-Hagen [5] dalam persamaan

$$\Theta = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta L} \quad (1)$$

dengan Θ : laju aliran, R : jari-jari pipa kapiler, ΔP : perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa, η : viskositas zat cair, dan L : panjang pipa kapiler.

Perbedaan tekanan disebabkan oleh adanya zat cair setinggi h , dengan berat W seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk tabung dengan luas penampang A persamaan (1) menjadi

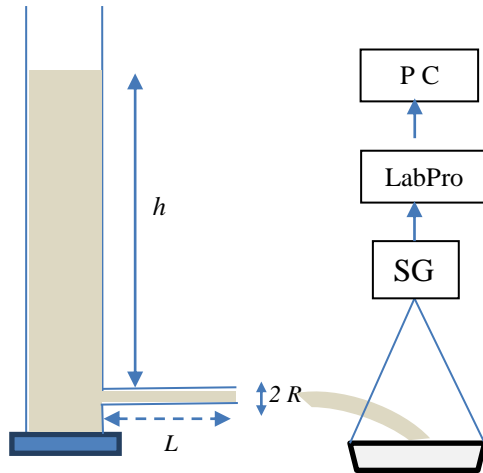
$$\Theta = \frac{\pi R^4 W}{8 \eta L A} \quad (2)$$

atau

$$\Theta = \alpha W \quad (3)$$

dengan

$$\alpha = \frac{\pi R^4}{8 \eta L A} \quad (4)$$



Gambar 1. Susunan peralatan. Zat cair mengalir melalui pipa kapiler menuju penampung yang digantungkan pada sensor gaya (SG). Sensor gaya dihubungkan dengan computer PC melalui *interface* LabPro.

Laju aliran menunjukkan pengurangan volume tiap satuan waktu t yang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\Theta = - \frac{dV}{dt} \quad (5)$$

Karena itu untuk zat cair dengan massa jenis ρ , dan percepatan gravitasi sebesar g , persamaan (5) dapat dituliskan menjadi

$$\Theta = - \frac{1}{\rho g} \frac{dW}{dt} \quad (6)$$

Dari persamaan (3) dan (6) akan didapat persamaan

$$\frac{dW}{W} = - \rho g \alpha dt \quad (7)$$

Untuk

$$\rho g \alpha = \lambda \quad (8)$$

penyelesaian persamaan (7) berbentuk

$$W = W_0 \exp(-\lambda t) \quad (9)$$

dengan W_0 berat awal.

Persamaan (9) menunjukkan peluruhan berat air di dalam tabung. Air akan mengalir ke penampung yang

dihubungkan dengan sensor gaya. Berat zat cair yang terukur oleh sensor gaya, mengikuti persamaan

$$W_1 = W_0 [1 - \exp(-\lambda t)] \quad (10)$$

Nilai konstanta λ dapat diperoleh dari data pengamatan berat terhadap waktu mengikuti persamaan (10). Selanjutnya viskositas dihitung menggunakan persamaan (8) dan (4).

III. METODE EKSPERIMEN

Susunan peralatan yang digunakan seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2. Diameter tabung tempat zat cair diukur menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan nilai luas penampang tabung A . Panjang pipa kapiler L diukur dengan jangka sorong, sedangkan diameter pipa kapiler R diukur dengan mikrometer sekrup dan analisa foto menggunakan *software* LoggerPro.



Gambar 2. Susunan peralatan yang digunakan dalam eksperimen.

Selanjutnya zat cair akan mengalir dari tabung melalui pipa kapiler ke penampung yang digantungkan pada sensor gaya. Sensor gaya yang digunakan adalah sensor gaya buatan Vernier dengan resolusi sebesar 0,05 newton. Sensor gaya dihubungkan ke komputer PC melalui *interface* LabPro. Selanjutnya data direkam dan diolah menggunakan *software* LoggerPro. Zat cair yang ditampung, diukur beratnya sebagai W_1 . Pengukuran berat dilakukan secara kontinyu dari awal sampai zat cair di dalam tabung habis. Suhu ruangan dimonitor selama penelitian.

Pada penelitian ini zat cair yang digunakan adalah gliserin. Pengukuran viskositas dilakukan pada berbagai konsentrasi. Pengubahan konsentrasi gliserin dilakukan dengan mengencerkannya dengan air. Untuk setiap konsentrasi juga dilakukan pengukuran massa jenisnya melalui pengukuran massa dan volume. Pengukuran volume menggunakan gelas ukur dan neraca Ohaus digunakan untuk mengukur massanya.

Berdasarkan persamaan (10), nilai λ dapat ditentukan dari *fitting* grafik hubungan W_1 terhadap waktu t . Selanjutnya dengan memberikan nilai-nilai massa jenis, percepatan gravitasi, jari-jari dan panjang pipa kapiler

serta luas penampang tabung, viskositas η dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8) dan (4).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

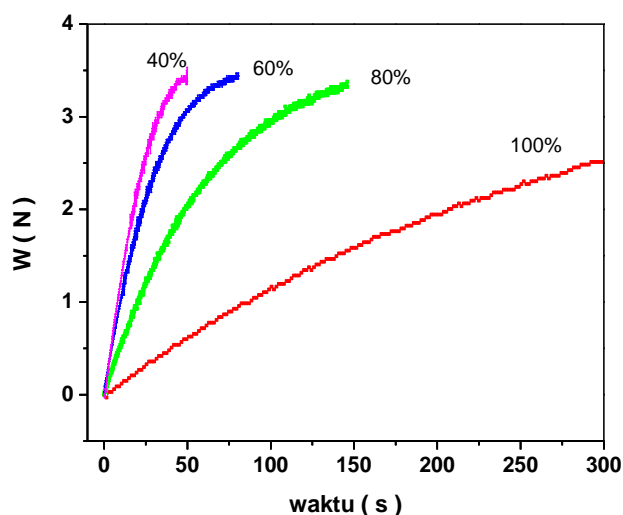
Sebelum diukur viskositasnya gliserin yang digunakan diukur massa jenisnya. Dari data pengukuran massa dan volume, massa jenis untuk berbagai konsentrasi gliserin yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Massa jenis gliserin yang digunakan.

No.	Konsentrasi (%)	Massa jenis (kg/m ³)
1	0	989 ± 6
2	20	1074 ± 5
3	40	1124 ± 14
4	60	1203 ± 8
5	80	1244 ± 9
6	100	1299 ± 6

Gliserin dengan volume 400 ml, ditempatkan pada tabung dengan luas penampang $A = (162 \pm 2) \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Gliserin akan mengalir melalui pipa kapiler dengan jari-jari $R = (1827 \pm 8) \times 10^{-6} \text{ m}$, dan panjang $L = (150,2 \pm 0,5) \times 10^{-5} \text{ m}$.

Pada awalnya berat gliserin yang ditampung meningkat dengan cepat. Kemudian penambahan beratnya semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa laju alirannya berubah, akan menurun karena adanya penurunan ketinggian gliserin di dalam tabung. Hasil pengamatan untuk berbagai konsentrasi gliserin pada suhu 26 °C, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengamatan berat gliserin yang ditampung terhadap waktu. Pengamatan dilakukan pada konsentrasi 40%, 60%, 80%, dan 100%.

Dari Gambar 3 tampak bahwa laju aliran tergantung pada konsentrasi gliserin yang digunakan. Semakin besar konsentrasinya mengakibatkan laju alirannya semakin kecil. Kekentalan ini menentukan viskositasnya. Untuk mengukur viskositas, dilakukan *fitting* data pada grafik hubungan antara berat gliserin yang ditampung terhadap waktu dengan persamaan (10). Untuk gliserin dengan konsentrasi 60%, hasilnya ditampilkan pada Gambar 4.

Dari *fitting* data pada gambar 4 dengan persamaan (10) diperoleh nilai konstanta

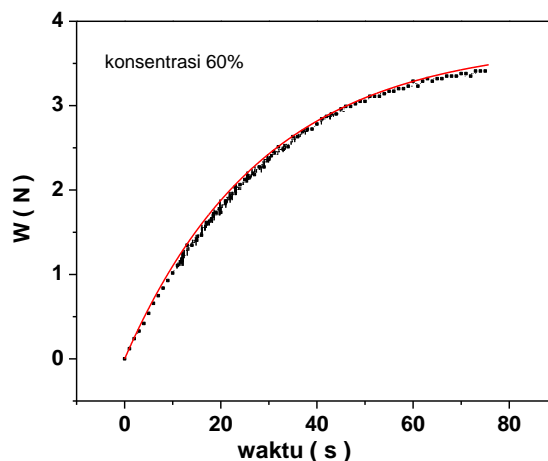
$$\lambda = (3465 \pm 7) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}.$$

Sesuai dengan Tabel 1, nilai massa jenis gliserin dengan konsentrasi 60% adalah

$$\rho = (1203 \pm 8) \text{ kg m}^{-3}.$$

Dengan kedua nilai di atas dan nilai percepatan gravitasi, nilai konstanta α dapat diperoleh dengan persamaan (8) sebesar

$$\alpha = (2,95 \pm 0,03) \text{ s m}^2 \text{ kg}^{-1}.$$



Gambar 4. Hasil pengamatan berat gliserin 60% yang ditampung terhadap waktu. Garis merah yang diberikan merupakan hasil *fitting* data dengan persamaan (10).

Selanjutnya nilai viskositas η dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4). Dengan memberikan nilai jari-jari pipa kapiler dan panjangnya, nilai viskositas dari gliserin dengan konsentrasi 60% adalah

$$\eta = (5,9 \pm 0,1) \text{ mPa s}.$$

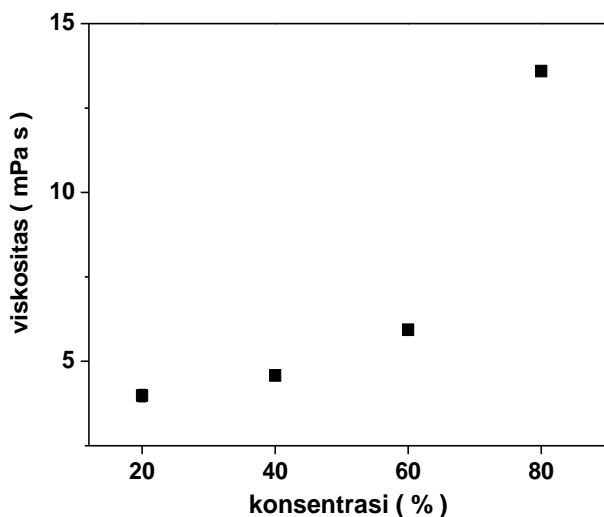
Dengan cara sama diperoleh nilai viskositas dari gliserin dengan berbagai konsentrasi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 5.

Tabel 2. Viskositas dari gliserin dengan berbagai konsentrasi, pada suhu 26 °C.

No.	Konsentrasi (%)	Viskositas (mPa s)
1	20	3,9 ± 0,1
2	40	4,6 ± 0,1
3	60	5,9 ± 0,1
4	80	13,6 ± 0,1

Untuk gliserin dengan konsentrasi 100% nilai viskositasnya tidak dihitung. Hal ini karena titik datanya masih kurang. Seperti terlihat pada Gambar 3 kurvanya belum mencapai maksimal. *Fitting* yang dilakukan akan memberikan nilai viskositas yang tidak tepat. Untuk

mengamati gliserin 100% akan diperlukan waktu pengamatan lebih dari 1 jam.



Gambar 5. Viskositas berbagai konsentrasi gliserin yang diukur pada suhu 26 °C.

Pengukuran viskositas ini dilakukan dengan mengamati aliran zat cair melalui pipa kapiler. Pada pustaka [5] aliran zat cair diukur dari ketinggian zat cair dalam tabung menggunakan *motion detector*. Hal seperti ini dimungkinkan bila tabung tempat zat cair mempunyai luas penampang yang besar, yang berarti eksperimennya akan memerlukan zat yang banyak. Berbeda dengan pustaka [5], pada penelitian ini digunakan sensor gaya untuk mengamati aliran gliserin yang keluar dari tabung. Dengan susunan alat ini, penampang tabung tempat gliserin dapat dibuat cukup kecil, sehingga keperluan zat cair seperti gliserin relatif sedikit yaitu kurang dari 0,5 liter.

Ketidakpastian pada pengukuran ini bersumber terutama pada pengukuran diameter pipa kapiler yang digunakan. Untuk mendapatkan nilai yang tepat, pada penelitian ini nilai jari-jari pipa kapiler diukur dengan menggunakan analisa foto dan jangka sorong. Selain itu ketidakpastian juga berasal dari ketersediaan titik data yang akan *difit* dengan persamaan (10).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama viskositas gliserin tergantung pada konsentrasinya. Semakin besar konsentrasinya berarti semakin pekat, nilai viskositasnya juga semakin besar. Kenaikan viskositas ini tidak linear. Pola ketergantungan viskositas terhadap konsentrasi gliserin yang diperoleh ini sesuai dengan pola yang dihitung dari database [7].

Pada penelitian ini pengukuran viskositas gliserin dilakukan pada suhu 26 °C. Nilai viskositas yang ditunjukkan pada pustaka [5] adalah sekitar 34 mPa s. Perbedaan hasil pengukuran nilai viskositas ini dapat berasal dari perbedaan jenis zat gliserin yang digunakan dan perbedaan keadaan saat eksperimen misalnya suhu. Pustaka [5] tidak menyebutkan suhu saat eksperimen.

Pengukuran viskositas semacam ini dapat digunakan sebagai bahan praktikum di tingkat universitas maupun sekolah menengah. Eksperimen dapat dilakukan tanpa memerlukan perangkat yang rumit.

V. KESIMPULAN

Pengukuran viskositas zat cair dapat dilakukan dengan mengukur laju alirannya. Nilai viskositas gliserin tergantung pada konsentrasinya.

PUSTAKA

- [1] E. Armitage, *Practical Physics in SI*, London: John Murray, 1982.
- [2] A. Houari, Determining the viscosity of liquids using an extended falling ball method, *Phys. Educ.*, vol. 46(6), 2011, pp. 688-691.
- [3] Yaakov Kraftmakher Rotational viscometers a subject for student projects, *Phys. Educ.*, vol. 45(6), 2010, pp.622-628.
- [4] F. Rosenberger, J. I. D. Alexander, and W. Q. Jina, Gravimetric capillary method for kinematic viscosity measurements, *Rev. Sci. Instrum.* 63 (9), 1992, pp. 4196-4199.
- [5] I A Sianoudis¹ and E Drakaki², An approach to Poiseuille's law in an undergraduate laboratory experiment, *Eur. J. Phys.*, vol 29, 2008, pp. 489-495.
- [6] B. F Bogacz and A. T. Pedziwiatr The use of force sensors and a computer system to introduce the concept of inertia at a school, *Phys. Educ.*, vol. 49(3), 2014, pp. 282-285
- [7] H.L. Anderson, *A Physicist's desk reference 2ed*, New York: American Institute of Physics, 1989.

TANYA JAWAB

Anonim

? Tabel massa jenis 0% gliserin tidak ada, mengapa ?

Felisia Arum Ratriyanti /USD

- ✓ Gliserin diencerkan menggunakan air, sehingga jika konsentrasi gliserin 0%, menunjukkan jenis zat cair adalah air.